

[MENU](#)[SEARCH](#)[INDEX](#)[DETAIL](#)[JAPANESE](#)

1 / 1

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-134510
(43)Date of publication of application : 20.05.1997

(51)Int.Cl. G11B 5/39

(21)Application number :	07-311604	(71)Applicant :	HITACHI METALS LTD
(22)Date of filing :	06.11.1995	(72)Inventor :	KUROSAWA HISAO MITSUMATA CHIHARU KOBAYASHI TOSHIO NOGUCHI SHIN

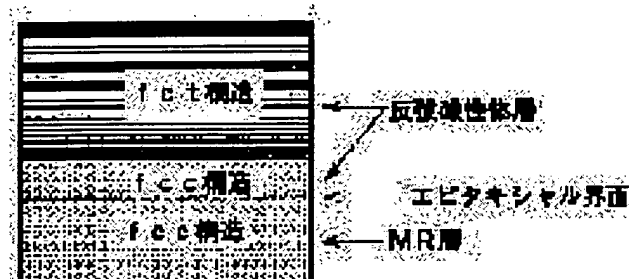
(54) MAGNETORESISTIVE MAGNETIC HEAD AND ITS MANUFACTURE

BEST AVAILABLE COPY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve an exchange coupling magnetic field, restrict Barkhausen noises and improve reproduction performance, by controlling an orientation degree of NiFe and NiMn when an antiferromagnetic exchange coupling film is used.

SOLUTION: A magnetoresistive element of the magnetic head is constituted of a ferromagnetic layer and antiferromagnetic layers. In the magnetic head, the antiferromagnetic layer in a face-centered cubic structure (fcc structure) is layered immediately on the fcc ferromagnetic layer, and the antiferromagnetic layer of a face-centered tetragonal structure (fct structure) is further layered. The antiferromagnetic layer of the fcc structure is formed in the vicinity of an interface of the ferromagnetic layer and antiferromagnetic layer. The interface of the ferromagnetic layer and antiferromagnetic layer maintains continuity owing to the epitaxial growth. The ferromagnetic layer is formed of an NiFe alloy, while the antiferromagnetic layers are formed of an NiMn alloy.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-134510

(43)公開日 平成9年(1997)5月20日

(51)Int.Cl.⁹

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数8 F D (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-311604

(22)出願日 平成7年(1995)11月6日

(71)出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72)発明者 黒沢 久夫

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式会社磁性材料研究所内

(72)発明者 三俣 千春

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式会社磁性材料研究所内

(72)発明者 小林 俊雄

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式会社磁性材料研究所内

(74)代理人 弁理士 大場 充

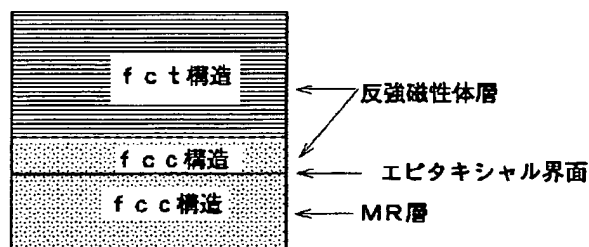
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気抵抗効果型磁気ヘッドおよびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 反強磁性交換結合膜を用いた磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、NiFeならびにNiMnの配向度を制御することにより、交換結合磁界を向上させ、バルクハウゼンノイズを抑制して再生性能を向上させる。

【解決手段】 磁気抵抗効果素子として強磁性体層と反強磁性体層とから構成される磁気抵抗効果ヘッドにおいて、面心立方晶(fcc)の強磁性体層の直上にfcc構造を有する反強磁性体層が積層され、更に面心正方晶(fct)の反強磁性体層が積層された構造を特徴とし、fcc構造を有する反強磁性体層は、強磁性体層と反強磁性体層の界面近傍に形成され、強磁性体層と反強磁性体層の界面はエピタキシャル成長によって連続性を保持しており、強磁性体層はNiFe系合金であり、反強磁性体層はNiMn合金であることを特徴としている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁気抵抗効果を呈する強磁性体層（MR層）とこれに直接接する反強磁性体層によって検出部が構成され、前記検出部には電極が設けられると共に絶縁層を介してシールド間に挟まれて配置される磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、前記検出部の能動領域ではMR層は面心立方晶（fcc）構造であり、直接接する前記反強磁性体層はfcc構造から面心正方晶（fct）構造に連続的に変化することを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッド（MRヘッド）。

【請求項2】 請求項1に記載のMRヘッドにおいて、前記強磁性体層の内fcc構造を有する反強磁性体層はMR層と反強磁性体層の境界界面近隣に形成することを特徴とするMRヘッド。

【請求項3】 請求項1または2に記載のMRヘッドにおいて、MR層と反強磁性体層の界面はエピタキシャル成長によって連続性を保持していることを特徴とするMRヘッド。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかに記載のMRヘッドにおいて、MR層はNiFe系合金であり、反強磁性体層はNiMn合金であることを特徴とするMRヘッド。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかに記載のMRヘッドにおいて、MR層の（111）面配向度を強め、エピタキシャル成長が可能で且つfccからfct構造に結晶構造変化を阻害しない範囲に制御できる非磁性で絶縁性のある層をMR層の下地膜として配することを特徴とするMRヘッド。

【請求項6】 請求項5に記載のMRヘッドにおいて、MR膜の下地膜はTa、Ta/SiO₂またはTa/Al₂O₃のいずれかによって構成されることを特徴とするMRヘッド。

【請求項7】 磁気抵抗効果を呈する強磁性体層（MR層）とこれに直接接する反強磁性体層によって検出部が構成され、この検出部には電極が設けられると共に絶縁層を介してシールド間に配置される磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、MR層を－40V以上の直流バイアス電圧を印加して製膜する工程、MR層をエッチング処理により表面を清浄化する工程、更に反強磁性体層を製膜する工程を含むことを特徴とするMRヘッドの製造方法。

【請求項8】 請求項7に記載のMRヘッドの製造方法において、MR層をエッチング処理により表面清浄化処理した後、MR層が所定の厚さになる製膜工程を含むことを特徴とするMRヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスク装置等に使用される磁気抵抗効果型磁気ヘッド（MRヘッド）に係わり、特にその検出部を構成する反強磁性交換

結合膜によるバルクハウゼンノイズの抑制効果を向上させた磁気抵抗効果層（MR層）とその製造方法に関わる。

【0002】

【従来の技術】近年、磁気記録技術の進歩は著しい。例えば家庭用VTRの分野では小型、軽量化のために、また磁気ディスク装置の分野では小型、大容量化のニーズに対応できるように高記録密度化技術が検討されている。磁気ヘッドとしてはこの高記録密度化に対して、磁気抵抗効果素子を検出素子としたMRヘッドの実用化が進められている。高記録密度化に対する磁気ディスク装置用磁気ヘッドの技術的なエポックを挙げると、単結晶フェライトを適用した記録・再生動作を単一ヘッドで行うリング型磁気ヘッド、磁気ギャップ部に高飽和磁束密度の磁性膜を設けたメタルインギャップ型磁気ヘッド、フォトリソグラフィ技術を応用した誘導型薄膜ヘッド、更に記録動作を誘導型薄膜磁気ヘッドで行い、再生動作をMRヘッドで行う記録再生分離型磁気ヘッド等がある。将来的には、高記録密度化に好適と考えられる記録再生分離型磁気ヘッドに進展しつつある。

【0003】さて、磁気ディスク装置を小型化するためには、まず磁気記録媒体である磁気ディスクの外径を小さくする方法が効果的であるが、磁気ディスクと磁気ヘッドの相対速度が低下してしまうため、電磁誘導現象を利用している従来のリング型フェライト磁気ヘッド、あるいは誘導型薄膜磁気ヘッドでは、充分な出力を得ることが困難になるという問題を有している。しかしながら、MRヘッドでは信号磁界の大きさまたは方向の少なくとも一方を検出することにしているため、出力は磁気ヘッドと磁気ディスクとの相対速度に無関係に一定であるという特徴を有している。このため、今後の磁気ディスク装置の小型化要請に対して、MRヘッドの性能向上は必須課題であると言える。

【0004】図12は記録再生分離型磁気ヘッドの概略構成を示したものである。この図は磁気ヘッドの中心線に沿って切断した後の左側半分を磁気記録媒体側から見た斜視図である。基板20上には、絶縁層を介して下部シールド1およびミッドシールド5の間に挟まれて磁気抵抗効果素子（MR素子）3が配置された再生専用のMRヘッドが形成されている。更に、その上層に上部磁極7とミッドシールド5によって閉磁路が構成され、書き込み用のコイル6が設けられた記録専用ヘッドとしての誘導型薄膜磁気ヘッドがMRヘッド上に搭載される。両ヘッドはミッドシールド5により互いに磁氣的に干渉されない構造を採用している。

【0005】磁気記録媒体面側から見たMRヘッドの検出部を図13に示す。MR素子は、磁気抵抗効果を呈するNiFe等の強磁性体層（MR層）3、非磁性で比較的高低抗性を有するTa等による磁気分離層9および軟磁性材からなるソフトバイアス膜（SAL膜）8の多層

体構成である。SAL膜8はMR層3に横バイアス磁界を与え、再生動作を線形領域内で行わせる目的で設けられるものである。更に、MR層3に直接接してNiMn等による反強磁性体層30が積層される。この反強磁性体層30はMR層3に対して反強磁性交換結合作用を生じ、バルクハウゼンノイズの抑制効果がある。反強磁性体層30には電極32が配置され、外部磁界としての信号磁界がMR素子部に印加されると、MR層3の電気抵抗が低下することになる。このため、電極32から導入されている一定電流による電圧降下が減少し、この変化分を信号磁界に対応する電気信号として検出するものである。

【0006】MRヘッドにおいて常に問題になることは、バルクハウゼンノイズの発生によりS/N比が低下することである。MRヘッドの感磁部即ち検出部には通常、磁気抵抗効果を呈する強磁性体としてパーマロイ(NiFe)膜が使用されるが、NiFe膜等の磁性体の磁区構造は、磁気エネルギーが最小となる還流型の多磁区状態をとる。このため、磁気記録媒体からの信号磁界によって磁区は回転を始め磁壁移動が進むが、NiFe膜中の不純物や欠陥によって磁壁移動が阻害され、磁気抵抗応答曲線が不連続となり、履歴を示すようになる。これに伴い再生出力波形が歪み、ノイズの発生原因となる。これがバルクハウゼンノイズの発生メカニズムである。

【0007】このバルクハウゼンノイズ抑制のためには、MR素子の長手方向に強い磁気異方性を誘起させ、MR素子を単磁区化することが有効である。Hempsteadらは、NiFe膜上に反強磁性体の γ 型FeMn膜をスパッタし、両者の界面で強磁性体と反強磁性体のスピンを交換相互作用により磁気的に結合させ、NiFe膜中のスピンの向きをFeMnのスピンの向きに揃える方法を報告している(IEEE Trans. Magn., MAG-14, 521 (1978))。しかし、FeMn膜の欠点は非常に錆やすい上に、NiFe/FeMn膜間の交換結合磁界(Hua)が消失するブロッキング温度(TB)が150℃以下と比較的低いため、使用条件および環境に制限を受けることである。

【0008】Tsann. Linらは、FeMn膜の代替材としてNiMn膜を検討した結果を報告している(Appl. Phys. Lett., 65, (9), 1183 (1994))。TBは400℃以上、Huaは100 Oe以上の特性を示しており、また耐食性はFeMn膜よりも良好であることが示されている。しかし、FeMn膜は製膜時においても20~30 OeのHuaが発生するが、NiMn膜は製膜時において数 Oeであり、NiFe膜との結合は非常に小さい。一方、NiMn膜のHuaを発現させてかつ増加させるためには、240~250℃以上の温度で数時間以上の熱処理が必要であることが報告されている。一方、バルク状態のNiMn

の結晶構造は面心正方晶(fcc)であることが知られている(J. S. Kasper, et al.: J. Phys. Chem. Solids Pergamon Press., 11, 231 (1959))。したがって、反強磁性を示すものは結晶構造がfcc構造であると考え、薄膜のNiMnであってもHuaを発現させるためには、fccの結晶構造をとることが推定される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、熱処理を十分に施しても大きなHuaが得られる場合と得られない場合が観測された。図7にその一例を示すが、NiFeの下地膜としてTa膜を形成した場合とTa膜無しの場合では、Huaは約半分(112→60 Oe)に低下することが確認された。この時のサンプルは、測定前に約290℃で約6hr(雰囲気は窒素中)熱処理を実施したものである。この低下原因を検討した結果、NiFe膜の下地無しに比較して、Taを下地膜に用いた場合は、fcc構造をとるNiFe膜の(111)面の配向度が飛躍的に増加することが明らかになった。

【0010】図8には $2\theta/\theta$ 法により求めたX線回折強度のプロフィールを示すが、膜構成としてSi/SiO₂/NiFeの積層体とSi/SiO₂/Ta/NiFeの積層体のX線回折強度を比較すると、Taを下地膜とした後者の方が約30倍大きい結果が得られた。これは、NiFe膜とNiMn膜の界面における整合性が深く関連しているものと考えられる。すなわち、NiMn膜がNiFe膜上にエピタキシャル成長することによりNiFe膜とNiMn膜の結合性が強くなるためと考えられる。したがって、NiFe膜に直接接している反強磁性体であるNiMn膜の結晶構造は、NiFeと同じfcc構造となることが予想され、また両者の格子定数差もより小さくなることが考えられる。

【0011】ところで、NiFe膜の(111)面配向度を更に増大化した場合、エピタキシャル成長がより促進されてHuaを増すことができることが予想されたため、Huaの限界値について検討した。なお、配向度向上の方法の一つとして、基板上的SiO₂膜を除去し、Si基板にTaあるいはNiFe膜を直接製膜する方法により増大可能であることは既に明らかになっている。Si基板上に直接TaあるいはNiFe膜を製膜し、前述と同様にX線回折強度を測定した結果を図8に示す。同図には前述したようにSiO₂下地膜ありと比較して示してある。測定結果を検討してみると、NiFe単層の回折強度は、Si/SiO₂/Ta/NiFeの回折強度と同程度に増加し、更にNiFeの下地にTaを積層したSi/Ta/NiFeの回折強度は、Si/SiO₂/Ta/NiFeの回折強度の2倍以上の大きな値を示すことが分かった。そこで、このSiO₂膜の有無による各積層構造のサンプルを熱処理し、各々のHua

を測定した結果を図14に示す。その結果、 SiO_2 膜有りのHu aが1000e以上を示すのに対し、 $\text{NiFe}(111)$ 面配向度向上が著しい SiO_2 膜無しのHu aは、約180e程度と非常に小さな値しか得られなかった。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、前述したように各種サンプルのHu aについて発生と原因のメカニズムを解明した結果、 NiFe/NiMn 間のHu aを向上させ、安定したHu aを得る構成および製造方法に想到するに至った。従来の欠点を解決するための手段について以下詳述する。MR層と反強磁性体層から構成された検出部を有するMRヘッドにおいて、面心立方晶(fcc)のMR層と直接接してfcc構造を有する反強磁性体層を積層して、更にfcc構造の反強磁性体層の上方には面心正方晶(fct)構造を有する反強磁性体層を形成するようにしたものである。また、fcc構造を有する反強磁性体層は、MR層と反強磁性体層の界面近傍に形成され、MR層と反強磁性体層の界面はエピタキシャル成長によって連続性を保持させている。MR層としては NiFe 系合金であり、一方反強磁性体層は NiMn 合金であることを特徴としている。

【0013】前述した従来例の課題にて挙げた種々の矛盾点は、以下に述べるメカニズムの説明から明解になる。Hu a向上のためには少なくとも2個の条件が必要である。すなわち、①fct結晶構造を有する反強磁性体が存在すること、② NiFe/NiMn 界面は整合性向上のためにエピタキシャル成長が必要であり、界面近傍の一部の反強磁性体はfcc結晶構造が結晶上好ましい。したがって、上記①と②を両立させるためには、 NiMn 膜が2層構造となる必要がある。この層構造の概念図を図1に示す。 NiFe によるMR層と NiMn による反強磁性体層におけるエピタキシャル成長は、電子顕微鏡（以下、TEMと略記）観察により明らかになった。その結果を図2に示す。

【0014】一方、 NiMn による反強磁性体層のうちfccからfctに結晶構造変化させる一般的な方法は熱処理である。製膜時においてHu aが発現しない理由は、 NiMn 層の全てが NiFe 層と同じfcc構造である。この様子をTEMで観察した結果が図3である。図3に示す写真を注意深く観察すれば、熱処理前には NiFe/NiMn 界面は不明瞭で同質と考えられるが、熱処理後は両者の界面が明瞭に分離できる。したがって、結晶構造が変化したことが理解できる。 NiMn 層の結晶構造は、製膜時に当初fcc構造であったが、熱処理の効果によりMR層との接合面の反対側がfct構造に変わった結果、本来の反強磁性を示すものとなった。以上のことから明らかな如く、 NiMn 層内の結晶構造は、fccからfctに連続的に変化すると共に、明瞭な境界相を有していない。

【0015】次に、 $\text{NiFe}(111)$ 面配向度をより大きくした場合のHu aの低下原因は、製膜時と同様な現象が起き、熱処理後においても NiMn の結晶構造がfccのまま維持固定された結果と考えられる。熱処理前後のTEM像を図3に示したが、図4に示すように SiO_2 膜無しのTEM像は NiFe から発生した柱状晶が、 NiMn 層の保護膜のMoまで貫通している様子が明瞭に観察できる。したがって、 $\text{NiFe}(111)$ 面配向度が大き過ぎたため、熱処理を施したにも拘わらずfccからfctに結晶構造変化すべき層の部分の変化が阻害されたものと考えられる。以上のことから、 $\text{NiFe}(111)$ 面配向度は、 NiFe 層と NiMn 層がその界面でエピタキシャル成長が達成できる大きさで、なおかつ NiMn 層のfccからfctへの結晶構造変化を阻害しない大きさの範囲である必要がある。すなわち、 $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Ta}/\text{NiFe}$ で得られたX線回折強度程度の大きさに制御することが重要である。

【0016】

【発明の実施の形態】製膜にはRFマグネトロンスパッタ装置を用い、ターゲットは直径6インチとした。製膜時のArガス圧力は0.2~0.5Pa、製膜前の到達真空度は 2×10^{-5} Pa以下を目標とした。基板温度は室温である。また、MR層としての NiFe 層に一軸磁気異方性を付与するため、約700eの外部磁場を印加しながら製膜した。基板材は、直径3インチの酸化膜付きSiウエハーを用いた。基板上に $\text{Ta}(20\text{nm})/\text{NiFe}(30\text{nm})/\text{NiMn}(50\text{nm})/\text{Mo}(10\text{nm})$ を連続して同一チャンパ内で製膜を行った。各々の投入電力密度は1.6/2.2/1.1/2.2w/cm²である。評価に用いた試料の層構成を図5および6に示す。最上層にあるMo層は保護層である。配向度の測定には $2\theta/\theta$ 法（理学電機製）を適用し、広角ゴニオメータ、管球；Cu、管電圧；50kV、管電流；40mAの条件で、またHu aは振動型磁力計（VSM）で評価した。

【0017】図7に NiFe の下地膜としてTa膜がある場合と無い場合のHu aの関係を示すが、Ta膜有りの方が約2倍強いHu aを示していることが分かる。図8に $2\theta/\theta$ 法により求めた各積層構造のX線回折強度の比較を示す。まず、 $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{NiFe}$ の積層体と $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Ta}/\text{NiFe}$ の積層体のX線回折強度を比較すると、Ta膜を下地とした後の方が約30倍大きいことが分かる。 NiFe の界面におけるエピタキシャル成長について検討すると、下地膜との整合性が必須の条件になるが、本発明では NiFe 膜の(111)面配向度の向上がその整合性を高める重要な要因と考えられる。

【0018】また、エピタキシャル成長を助長させるためには、界面の清浄化も同様重要な要因である。したが

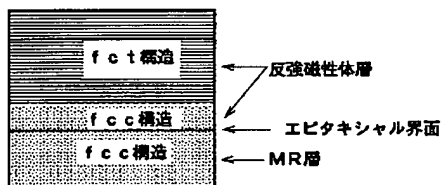
って、NiFe/NiMn界面の清浄化がこれに該当する。このため、NiMnの製膜前にNiFe表面をエッチングした場合のエッチング時間とその効果を、Huaについて図9に示す。当然ながら、エッチング時間の増加に伴いHuaは大きくなることが分かった。エッチング処理によりNiFeの膜厚は減少するが、その減少分を補い所定厚にするため、各エッチング時間ごとに製膜時の膜厚を制御した。この結果から、NiFe/NiMnの界面をより清浄化することによりエピタキシャル成長を助長することは明らかである。

【0019】一方、スパッタリング法では基板にバイアス電圧を印加しながら製膜すると、膜質が向上する。また、NiFe製膜時の基板バイアス電圧と(111)面回折強度の関係を図10に示す。基板バイアス電圧を上昇させるに伴いX線回折強度は増加しており、配向度は向上する。その時のHuaの値を測定した結果、図11に示すように基板バイアス電圧をマイナス側に高めるに従ってHuaも増加傾向があり、-40V以上でその効果が顕著になる。

【0020】

【発明の効果】本発明の実施により反強磁性交換結合膜を用いた磁気抵抗効果型磁気ヘッドの特性を従来に比べて格段の向上を図ることができる。更に詳しく述べるならば、交換結合磁界を向上できる強磁性体層と直接接する反強磁性体層の層構造の解明により、磁気抵抗効果型磁気ヘッドの固有の課題であったバルクハウゼンノイズを抑制でき、S/Nを高く再生性能に優れたMRヘッドを容易に製造することが可能である。

【図1】



【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による検出部断面構成

【図2】NiFe/NiMn界面におけるエピタキシャル成長を示す暗視の電子顕微鏡写真像

【図3】熱処理前後のNiFe/NiMn界面における明視の電子顕微鏡写真像の比較

【図4】基板/Ta/NiFe/NiMn/Mo積層膜の明視の電子顕微鏡写真像 (SiO₂なし)

【図5】実施例による積層構成 (SiO₂有り)

【図6】実施例による積層構成 (SiO₂なし)

【図7】Ta膜有無の積層膜のHuaの比較

【図8】SiO₂膜有無の単層および2層膜の製膜時におけるX線回折パターン

【図9】NiFe膜エッチング時間とHuaの関係

【図10】DCバイアス電圧と(111)面回折強度の関係

【図11】DCバイアス電圧印加時のHua依存性

【図12】従来のMRヘッドの概略構成を示す斜視図

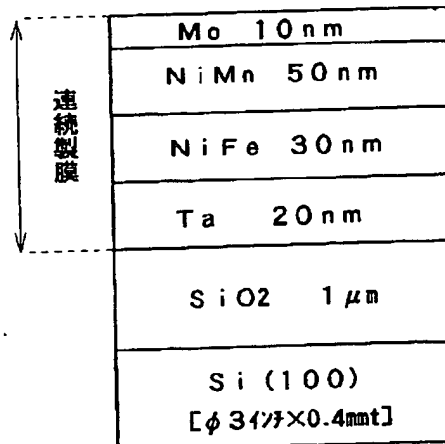
【図13】従来のMRヘッドの検出部の断面図

【図14】SiO₂膜有無の積層膜の熱処理後のHuaの比較

【符号の説明】

1 下部シールド、3 MR層、5 ミッドシールド、6 コイル、7 上部磁極、8 MR素子、9 磁気分離層、12 上部絶縁層、18 記録用ギャップ、20 基板、21 絶縁層、23 下部絶縁層、25 絶縁膜、30 反強磁性体層、32 電極

【図5】



【図2】

図面代用写真



Mo

NiMn

NiFe

Ta

SAL

基板

40 nm

【図4】

図面代用写真



Mo

NiMn

NiFe

Ta

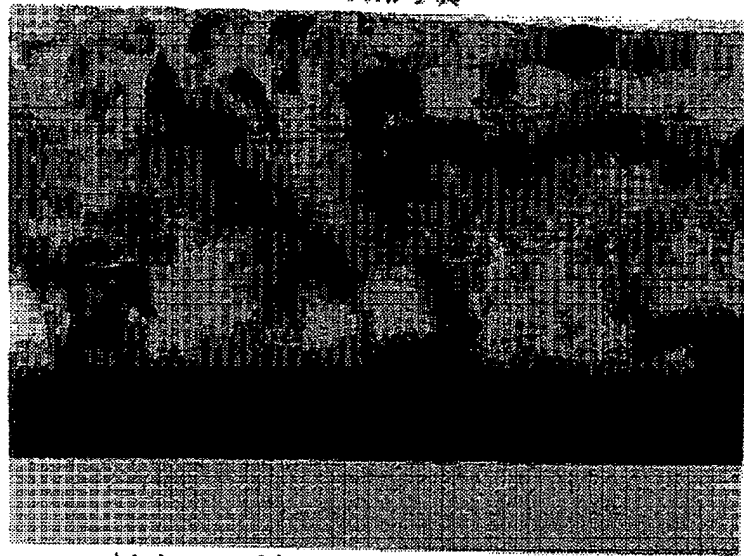
基板

SiO₂無し

10 nm

【図3】

図面代用写真



Mo

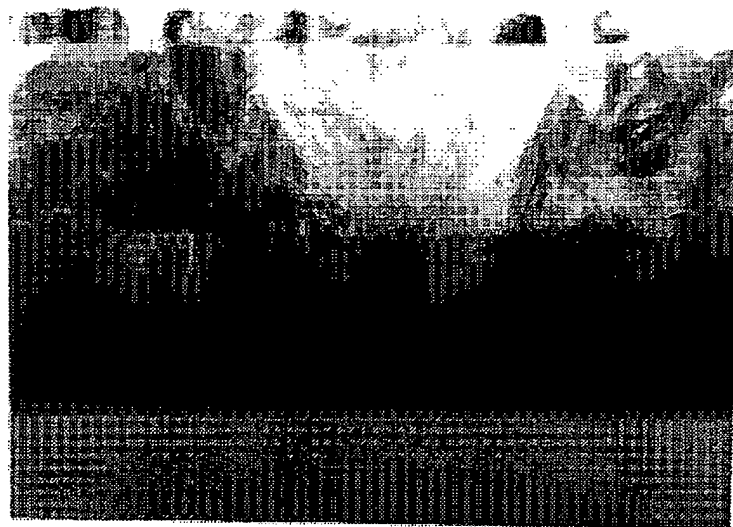
NiMn

NiFe

Ta

基板

熱処理前



Mo

NiMn

NiFe

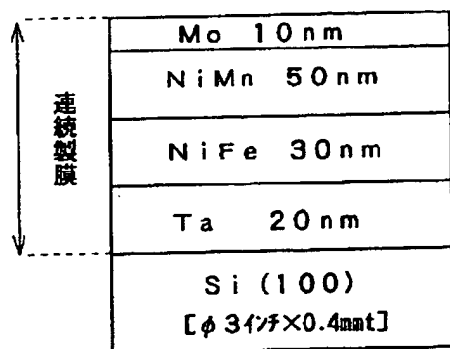
Ta

基板

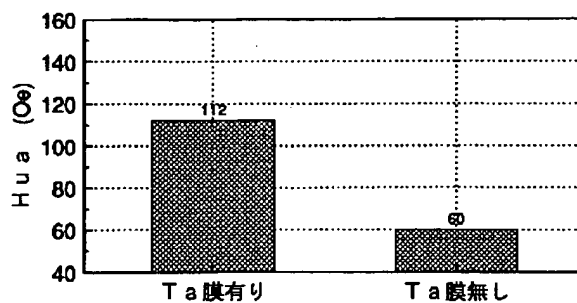
熱処理後
(290°C×6hr)

10nm

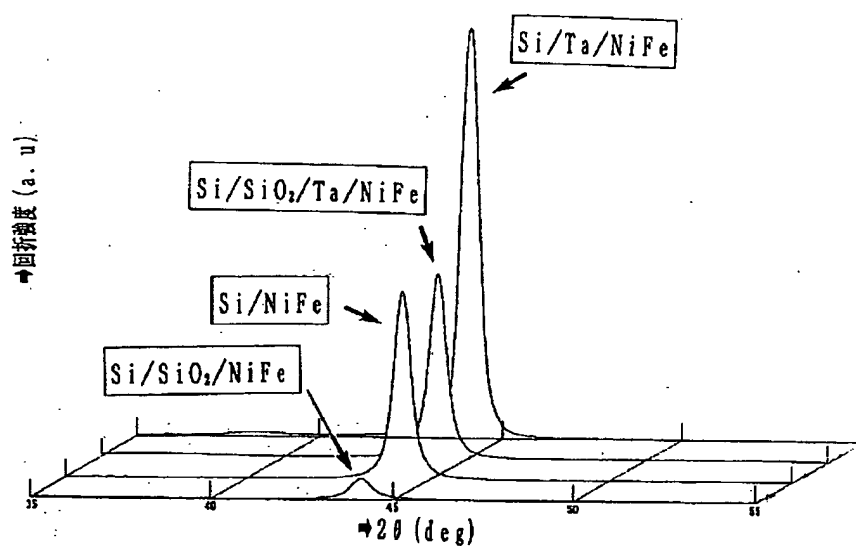
【図6】



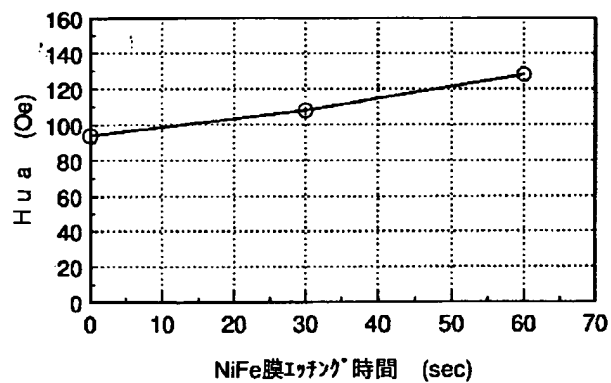
【図7】



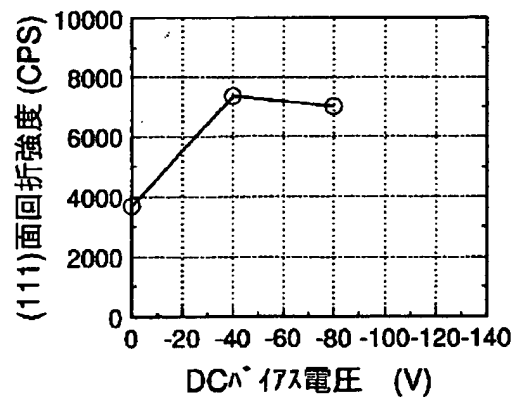
【図8】



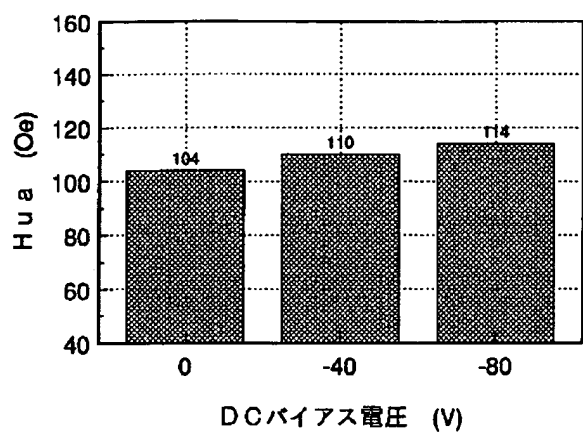
【図9】



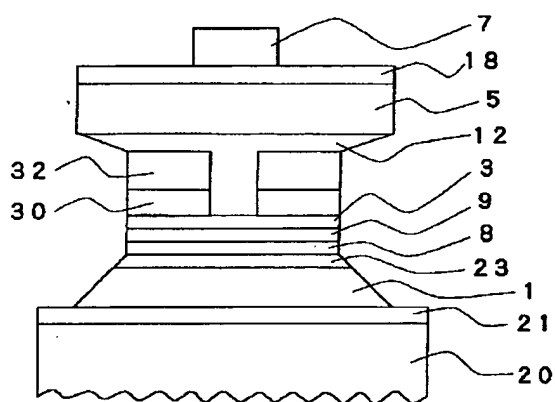
【図10】



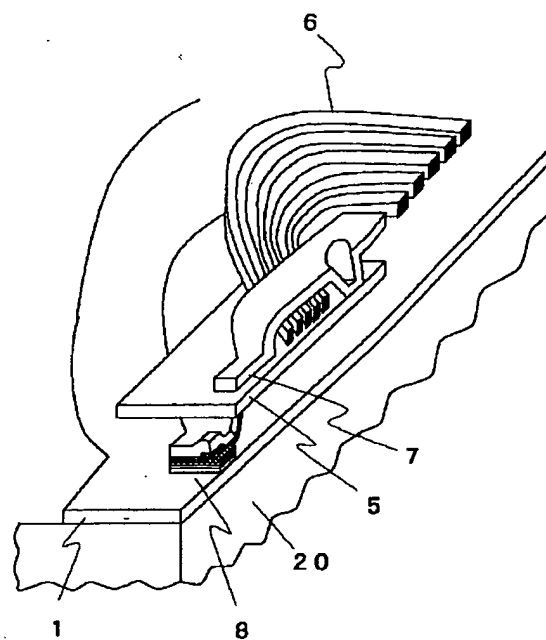
【図11】



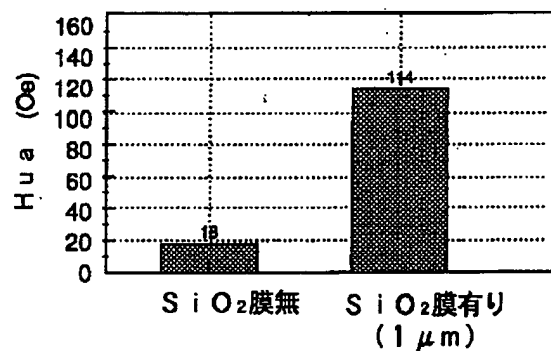
【図13】



【図12】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 野口 伸
埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.